

**PROCEDE POUR LA DETECTION DE BUTEES ET DE CALAGE D'UN MOTEUR  
PAS-A-PAS ET MOTEUR PAS-A-PAS A DETECTEUR DE BUTEE**

La présente invention concerne le domaine des moto-  
5 réducteurs de type pas-à-pas (moteurs polyphasés synchrones,  
commandés dans un mode « pas-à-pas »), et plus  
particulièrement les moto-réducteurs commandés dans un mode  
« micro-pas ».

Pour bien comprendre le principe de l'invention, on  
10 rappellera que le mode de commande « pas-à-pas » conduit à  
des incréments de rotation, au niveau du rotor, appelé pas  
entiers, qui correspondent, par exemple, à 6 pas entiers  
(respectivement 4) par période électrique du courant présent  
dans chaque phase, pour un moteur triphasé (respectivement  
15 diphasé). Pour réduire cet incrément de rotation, de manière,  
par exemple, à réduire le bruit en fonctionnement et les  
vibrations générées au niveau du rotor, on peut subdiviser  
les pas entiers en micro-pas, comme indiqué figure 1.

Pour ce faire, et contrairement au mode de pilotage en  
20 pas entier, chacune des phases du moteur doit alors être  
pilotée avec un courant de forme sensiblement sinusoïdale en  
fonction du nombre de micro-pas par pas, et dans l'exemple  
de la figure 2, on voit que, pour un moteur triphasé, 6  
transistors seront nécessaires pour imposer simultanément  
25 dans les 3 phases du moteur 3 ondes de courant sensiblement  
sinusoïdales, déphasées de  $120^\circ$  électriques.

Les procédés de détections usuelles de butées, ou de  
calage, des moto-réducteurs pas-à-pas utilisent des moyens  
de détections de la valeur de la tension induite dans les  
30 phases du moteur, dans des états particuliers des  
transistors de commande de ces phases (état ouvert par  
exemple, permettant de venir mesurer sans interférence la  
tension induite dans la phase non utilisée).

On voit donc que pour les moteurs polyphasés commandés en mode « micro-pas », utilisant l'ensemble des transistors de puissance simultanément, il est difficile d'avoir accès à cette mesure de tension induite.

5 On trouve dans l'art antérieur des moyens de détection du blocage des moteurs pas-à-pas tels que par exemple EP 0458159, US 4,672,282, US 20003/0117100, EP 1178379, US20003/0155883 ou la valeur de la tension induite dans une des phases du moteur, ou son effet sur le courant circulant  
10 dans les bobines, est mesuré. Le gros désavantage de toutes ces solutions est la grande sensibilité aux tolérances du moteur (la tension induite est proportionnelle à la constante de couple du moteur, au nombre de spires, à la température,...), aux modes de résonances du rotor du moteur,  
15 et le taux de fiabilité de la détection est faible en fonction des événements extérieurs. Un autre désavantage de ces solutions, tel que mentionné dans EP 1178379 ou US 20003/0117100 par exemple, est que la détection se fait en pas entier ou en 1/2 pas, pendant des séquences bien  
20 précises de non alimentation des phases. Le désavantage de ces procédés est donc que l'information de butée n'est pas disponible de façon instantanée, nécessite pour être précise une mesure sur chaque phase, et ne permet pas d'alimenter les phases du moteur en continu.

25 L'objet de l'invention est de proposer un procédé fiable et robuste de détection de butée des moto-réducteurs polyphasés, et plus particulièrement de ceux commandés en mode « micro-pas », s'affranchissant d'une mesure de tension induite dans un état de non-alimentation des phases, par  
30 l'intermédiaire d'une mesure du courant total consommé par les N phases du moteur.

Dans son acception la plus générale, l'invention concerne un procédé de détection de butée générique s'appliquant aux modes d'alimentation « micro-pas » en courant (commande à courant constant dans les phases) ou en tension (commande à tension constante) des moteurs diphasés ou triphasés. Les modes d'alimentation « micro-pas » présentent l'avantage d'incréments de déplacement au niveau du rotor beaucoup plus fins que les modes « pas entier », ce qui conduit à un niveau de bruit de fonctionnement beaucoup plus faible. Cet aspect est particulièrement important dans les applications de moto-réducteurs pour vanne de climatisation, mais jusqu'à présent aucun procédé de détection de butée en mode de commande « micro-pas » n'avait été proposé.

Le principe de l'invention consiste à mesurer dans la résistance d'échantillonnage  $R_1$  (figure 2 et 3) le courant total consommé dans la somme des  $N$  phases du moteur polyphasé, et à considérer le moto-réducteur comme un système chargé de transformer une puissance électrique d'entrée  $P_{Elec}$  (égale au produit de la tension d'alimentation  $U$  par le courant total  $I$  circulant dans  $R_1$ ), en une puissance mécanique  $P_{Mécanique}$  (égale au produit du couple fourni par le moto-réducteur et de sa vitesse) et en une puissance Joule  $P_{Joule}$  (égale à la somme des puissance Joule dissipée dans les  $N$  phases du moteur) :

$$P_{Elec} = U \cdot I = P_{Joule} + P_{Mécanique}$$

$$\text{soit } I = f(P_{Joule} + P_{Mécanique})$$

Cette formule est approximative puisqu'elle ne tient pas compte des pertes dans le réducteur, mais nous voyons

bien qu'en fonction des valeurs prises par  $P_{Joule}$  et  $P_{Mécanique}$  il est possible d'interpréter, lors de la mesure du courant  $I$  total des phases, des conditions de fonctionnement particulières.

5           A titre d'exemple, la figure 4 montre l'évolution du courant total  $I$ , circulant dans la résistance R1, entre un fonctionnement en mode micro-pas à vitesse constante et un calage du rotor.

10           Avantageusement, il est possible d'associer au procédé de mesure du courant total dans les N phases, un procédé mathématique ou statistique de traitement de la variation de  $I$ , qui nous permette de bien discriminer une charge importante du moto-réducteur, d'une butée ou d'un calage.

15           Selon une variante, l'opération mathématique ou statistique de détection consiste à calculer une variable proportionnelle au carré de l'écart type des valeurs du courant total échantillonné dans R1, de manière à donner de la sensibilité au procédé et à s'affranchir de toute notion  
20 de valeur absolue du courant  $I$ .

Avantageusement, le procédé de l'invention comportera une étape de détermination du couple maxi applicable par le moto-réducteur et/ou une étape de détermination de la perte du synchronisme par le rotor du moto-réducteur.

25           L'invention sera mieux comprise à la lecture de la description suivante faisant référence aux dessins annexés où :

- la figure 1 représente une période électrique du courant d'une des phases d'un moteur polyphasé, subdivisé en  
30 « micro-pas »,

- la figure 2 représente le schéma électrique simplifié d'un driver triphasé selon l'invention,

- la figure 3 représente le schéma électrique simplifié d'un driver diphasé selon l'invention,

- la figure 4 représente le courant total consommé dans un moto-réducteur triphasé piloté en « micro-pas » en mode tension

- la figure 5 représente le même courant total et la valeur de son écart-type élevé au carré,

- la figure 6 présente la réalisation d'un moto-réducteur diphasé pour application vanne de climatisation,

- la figure 7 présente la réalisation d'un moto-réducteur triphasé pour application vanne de climatisation.

La figure 1 représente une période électrique du courant d'une des phases d'un moteur polyphasé, subdivisée par exemple en 24 « micro-pas » par période, qui est un nombre typiquement utilisé pour mettre en oeuvre l'invention, et qui conduit à une réduction de bruit très importante par rapport à l'utilisation classique en 6 pas entiers par période électrique.

En figure 2, on trouve le schéma électrique simplifié d'un driver triphasé en « mode micro-pas » selon l'invention, utilisant 6 transistors Q1 à Q6, Q1 et Q4 (respectivement Q2 et Q5, Q3 et Q6) pilotant le courant traversant la phase C (respectivement B et A). La résistance R1 est une résistance d'échantillonnage qui sert à la mesure de la somme des courants IA, IB, IC traversant chaque phase, par l'intermédiaire du filtre (R2, C1). La sortie du filtre R2C1 sera traitée à l'aide du convertisseur analogique/numérique d'un micro-contrôleur par exemple.

La figure 3 représente le schéma électrique simplifié d'un driver diphasé selon l'invention, utilisant 8

transistors Q1 à Q8, où la somme des courants des 2 phases A et B est mesurée dans la résistance R1, par l'intermédiaire du filtre (R2, C1).

La figure 4 représente une vue de l'évolution de la  
 5 somme du courant I des N phases d'un moteur polyphasé, mesuré dans R1, dans un mode d'alimentation en micro-pas. Le courant possède une valeur stable dans la zone 1 du graphique lors du fonctionnement synchrone, régulier et hors butée ou hors calage, du rotor du moto-réducteur, avant  
 10 d'évoluer vers une valeur sensiblement plus élevée et plus irrégulière dans la zone 2 du graphique, lorsque le moto-réducteur est arrivé en butée.

La figure 5 montre la mise en œuvre d'un procédé mathématique ou statistique de traitement de la variation du  
 15 courant I mesuré dans R1. Dans l'exemple de la figure 5, la valeur du courant I est échantillonnée, à l'aide d'un convertisseur analogique/numérique d'un micro-contrôleur par exemple, et l'écart type  $\sigma$  des valeurs  $x_i$  des N échantillons est calculé :

$$20 \quad \sigma = \sqrt{\frac{N \cdot \sum_{i=0}^N x_i^2 - \left(\sum_{i=0}^N x_i\right)^2}{N^2}}$$

De manière plus précise, la valeur  $N^2 * \sigma$  est représentée en figure 5, en comparaison avec la valeur du courant I total des phases. On voit nettement qu'un tel  
 25 procédé mathématique permet d'encore mieux discriminer les zones 1 de fonctionnement régulier, des zones 2 de fonctionnement en butée, et de fixer un seuil d'écart type E, pour les valeurs  $N^2 * \sigma$  à partir du quel le microcontrôleur,

ou l'ASIC, décide que le moto-réducteur est en butée ou calé. Par rapport aux procédés d'analyse des tensions induites des phases des moto-réducteurs exposés dans l'art antérieur, on voit qu'un des grands avantages du procédé est sa mise en œuvre de façon instantanée dès le dépassement du seuil de détection.

Les figures 6 et 7 représentent des vues en 3 dimensions de moto-réducteurs di- ou triphasés pour vanne de climatisation automobile auxquels l'invention est plus particulièrement destinée. Les moto-réducteurs ont, par exemple, des rapports de réduction de l'ordre 1/720, avec 4 étages de réduction, ce qui conduit à une certaine élasticité du réducteur. Cette raideur finie du réducteur explique le besoin de sensibilité du procédé de détection, de manière à ne pas confondre un point dur à passer par le moto-réducteur et une butée. Le procédé de traitement mathématique des échantillons du courant I permet de discriminer différents états du moto-réducteur tels que :

- mode synchrone régulier,
- augmentation du couple fourni par le moto-réducteur,
- arrivée en butée avec décrochage du rotor du moto-réducteur.

Le procédé de détection de butée ou de calage d'un moteur pas-à-pas exposé ici est appliqué de manière préférentielle à une alimentation en mode micro-pas, mais il va sans dire que le nombre de micro-pas par pas pour lequel le procédé reste valide peut évoluer d'une valeur supérieure à 100 micro-pas/pas à une valeur unitaire correspondant au pas entier.

De même le mode de commande, tension ou courant, n'est pas fondamental pour la mise en œuvre de l'invention

De même les opérations mathématiques de traitement des échantillons du courant total des phases peuvent être variées, et se baser sur des moyennes, des écarts-types, ou tout autre procédé statistique de traitement du signal.

- 5 De plus, le procédé de détection suivant l'invention est plus particulièrement appliqué aux moto-réducteurs pas-à-pas de rapport de réduction pouvant évoluer d'une valeur supérieure à 1/1000 jusqu'à une valeur unitaire correspondant à l'utilisation du moteur en prise directe
- 10 avec sa charge.



REVENDICATIONS

1) Procédé de détection de butée d'un moto-réducteur polyphasé synchrone commandé en mode « pas-à-pas », mettant  
5 en oeuvre la mesure de la somme des courants circulant dans chacune des N phases du moto-réducteur, caractérisé en ce que le seuil de détection de butée est calculé par rapport à l'évolution de la somme desdits courants.

10 2) Procédé de détection selon la revendication 1, caractérisé en ce que la mesure de la somme des courants circulant dans chacune des N phases du moto-réducteur est réalisée par échantillonnage.

15 3) Procédé de détection selon la revendication 1 ou 2, caractérisé en ce que les valeurs de courant échantillonnées sont traitées par une opération mathématique ou statistique, et en ce que le seuil de détection de butée est déterminé par rapport au résultat de ce traitement.

20 4) Procédé de détection selon la revendication 1, 2 ou 3, caractérisé en ce qu'il comporte une étape détection de butée pour la discrimination d'une zone de fonctionnement synchrone en mode micro-pas du moto-réducteur d'une zone  
25 d'arrivée sur une butée.

5) Procédé de détection selon la revendication 1, 2 ou 3, caractérisé en ce qu'il est appliqué aux moto-réducteurs pas-à-pas diphasés.

30 6) Procédé de détection selon la revendication 1, 2 ou 3, caractérisé en ce qu'il est appliqué aux moto-réducteurs pas-à-pas triphasés.

7) Procédé de détection selon la revendication 1, 2 ou 3, caractérisé en ce qu'il est appliqué aux moto-réducteurs de vanne de climatisation automobile.

8) Procédé de détection selon la revendication 1, 2 ou 3, caractérisé en ce qu'il comporte une étape de détermination du couple maxi applicable par le moto-réducteur.

9) Procédé de détection selon la revendication 1, 2 ou 3, caractérisé en ce qu'il permet comporte une étape de détermination de la perte du synchronisme par le rotor du moto-réducteur.

10) Procédé de détection selon la revendication 1, 2 ou 3, caractérisé en ce qu'il est appliqué aux moto-réducteurs pas-à-pas de rapport de réduction 1 à  $r$ ,  $r$  étant un nombre réel fini.

11) Procédé de détection selon la revendication 1, 2 ou 3, caractérisé en ce qu'il est appliqué aux moto-réducteurs pas-à-pas, pilotés en mode micro-pas à  $m$  micro-pas/pas,  $m$  étant un nombre entier supérieur ou égal à 1.

12) Moto-réducteur polyphasé comportant un moteur pas-à-pas et un circuit électronique de commande en mode « micro-pas », caractérisé en ce qu'il comporte un moyen de détection de butée constituée par un circuit de mesure du courant total consommé par les  $N$  phases du moteur.

13) Moto-réducteur polyphasé selon la revendication précédente, caractérisé en ce que ledit moyen de détection de butée comporte une résistance d'échantillonnage  $R_1$  et un  
5 moyen de mesure dans ladite résistance du courant total consommé dans la somme des  $N$  phases du moteur polyphasé.

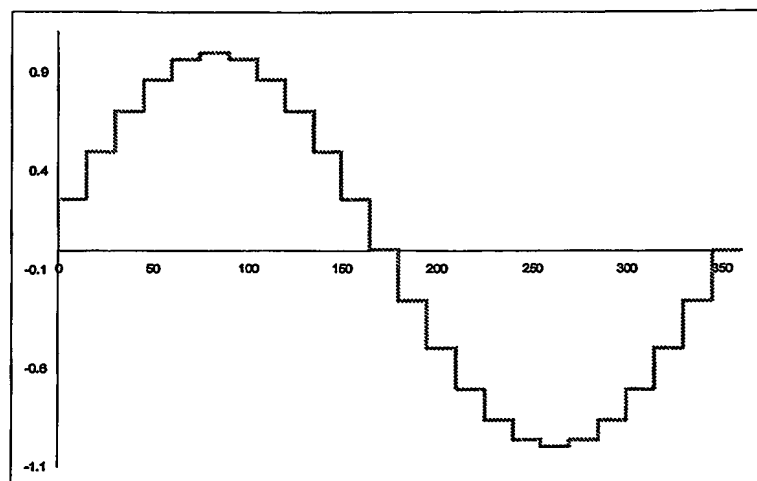


Figure 1

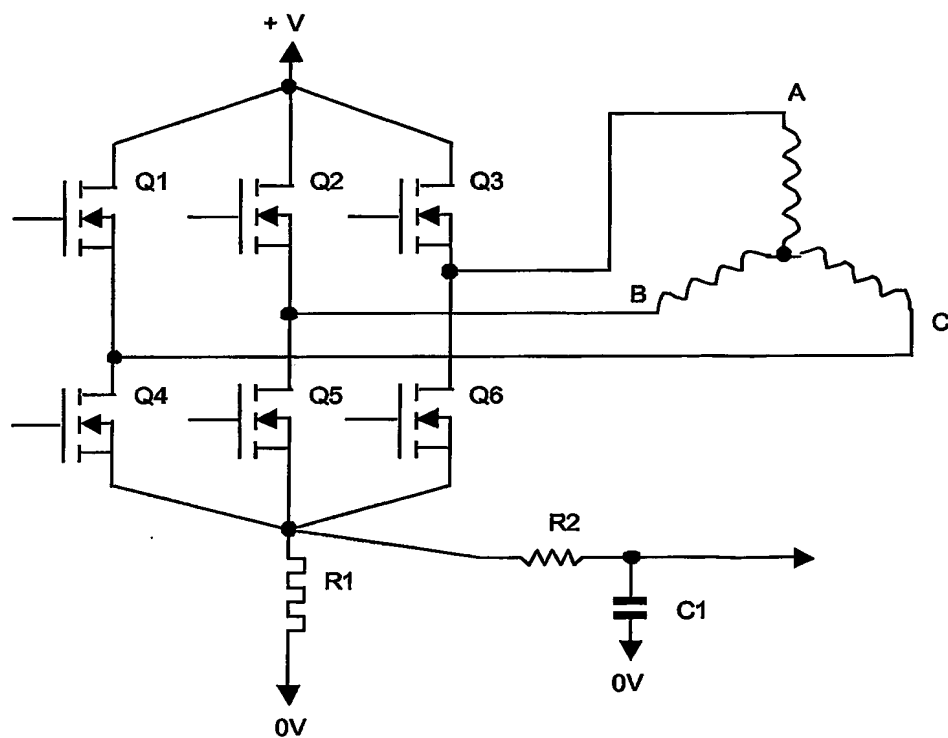


Figure 2

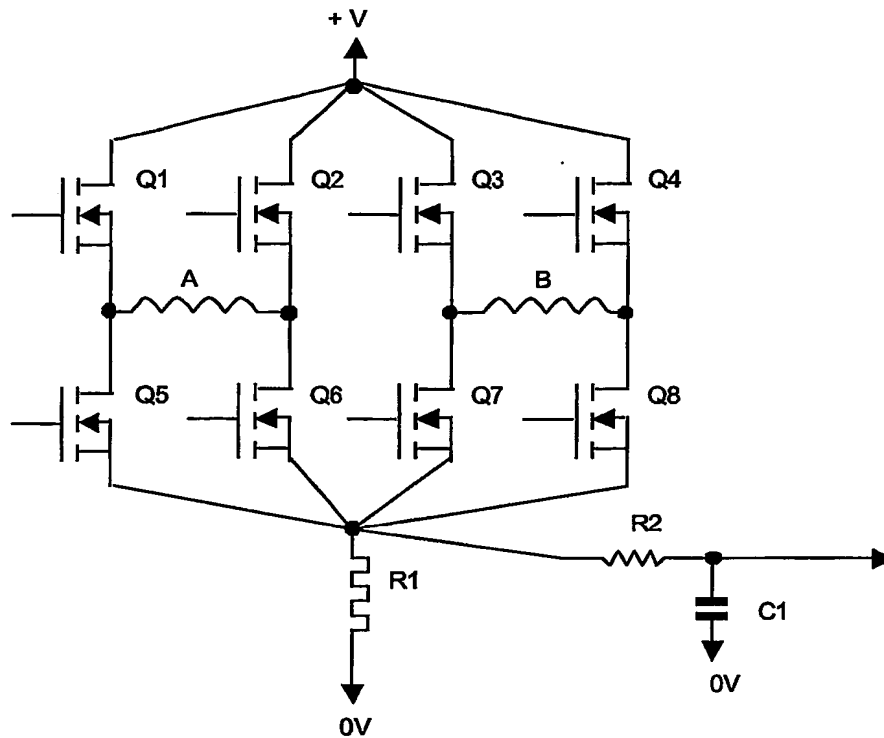


Figure 3

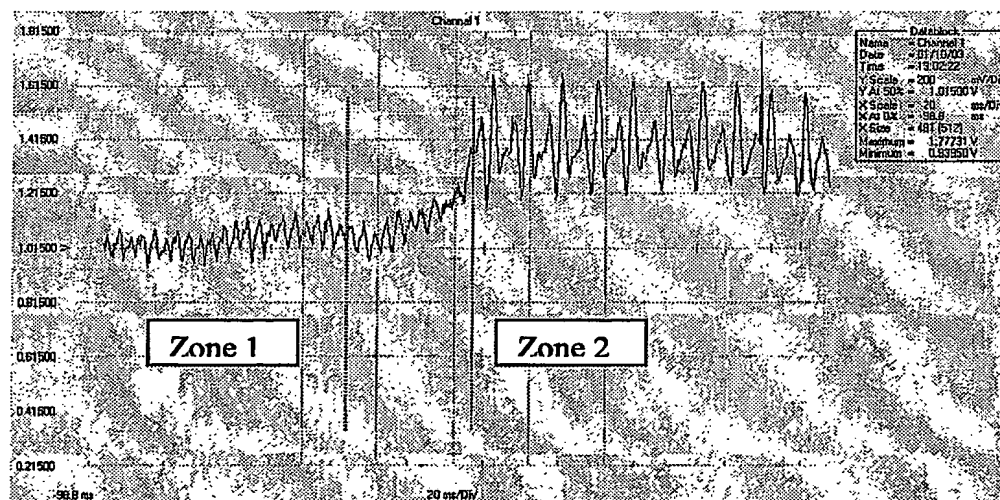


Figure 4

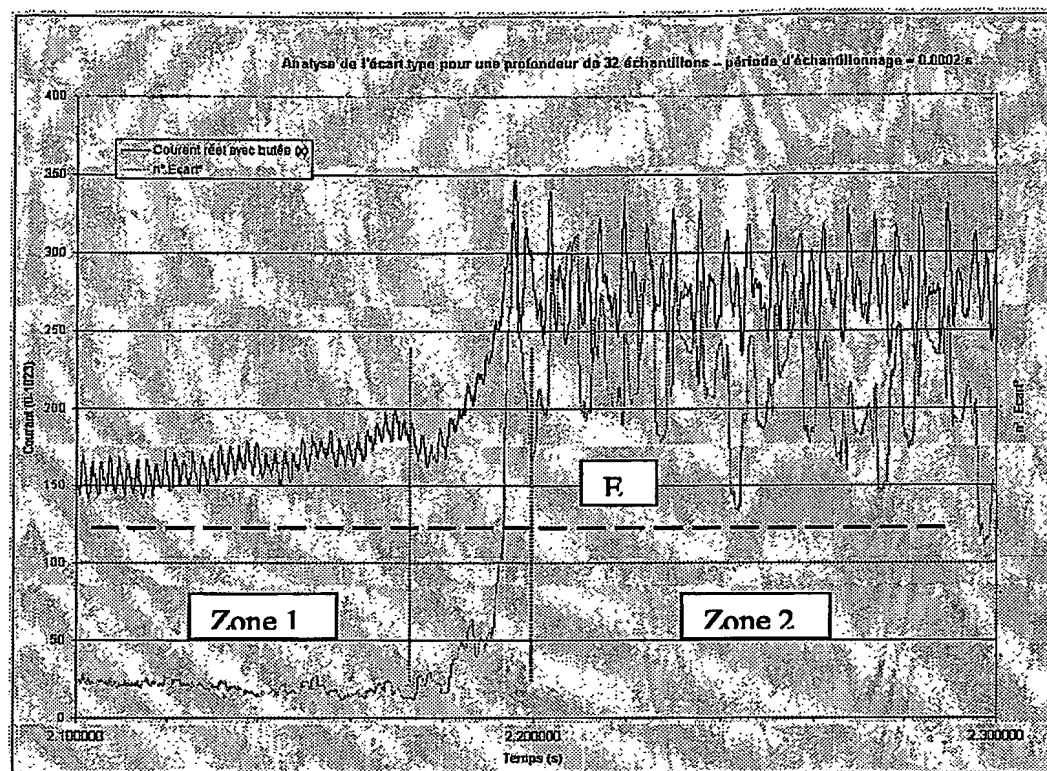


Figure 5

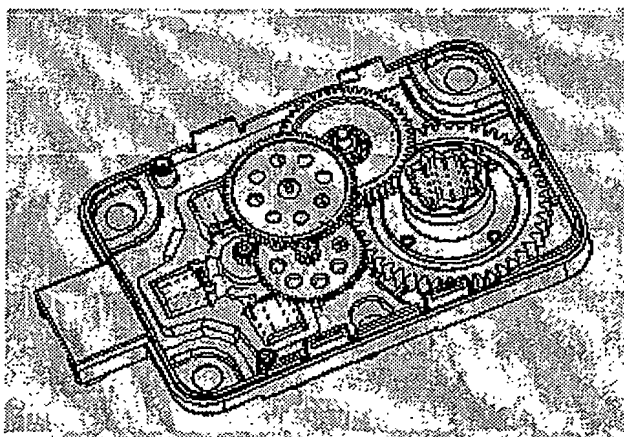


Figure 6

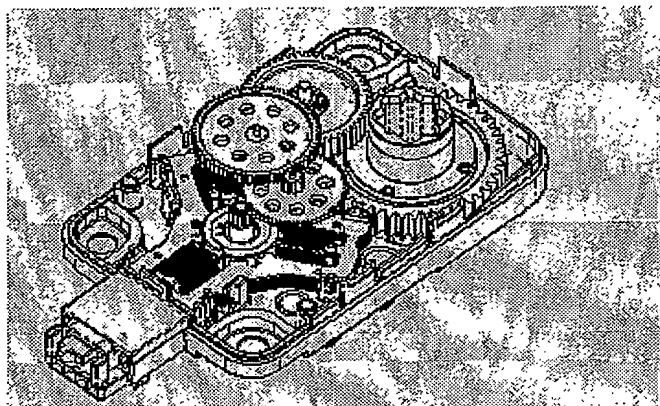


Figure 7